

面向

21^{世纪}

高级应用型人才



中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

数控加工与编程(第三版)

詹华西 主 编
李艳华 黄堂芳 副主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

数控加工与编程

(第三版)

詹华西 主 编

李艳华 黄堂芳 副主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是根据中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。

全书共分六章,内容包括:数控加工实用基础、数控车床的操作与编程、数控铣床的操作与编程、加工中心的操作与编程、宏编程技术及其应用、微机自动编程与应用。

本书可用作高职高专院校数控、模具、机电等专业数控加工课程的教材,也可作为数控加工技术职业鉴定的培训教材,同时可供一般工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程 / 詹华西主编. —3 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.1

高职高专系列规划教材

ISBN 978-7-5606-3253-7

I. ①数… II. ①詹… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 004979 号

策划编辑 云立实

责任编辑 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年1月第3版 2014年1月第13次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 19

字 数 444千字

印 数 56 001~59 000 册

定 价 29.00 元

ISBN 978-7-5606-3253-7/TG

XDUP 3545003-13

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

本书是根据中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。

本书于 2004 年 1 月推出第一版, 2007 年 7 月推出修订后的第二版。该书出版以来一直深受广大读者的欢迎, 对于读者的支持, 编者在此深表感谢。

由于数控加工技术的发展, 需要不断地对知识和技能进行更新, 编者在第二版的基础上进行了本次修订。本书面向机电类相关专业, 以了解和掌握数控加工综合技术为宗旨, 修订后的第三版保持了已有版本对知识内容编排的特色, 在章节结构上并未做较大调整, 主要从以下几方面进行了修改和补充:

(1) 就每章中相关知识内容进行了适当的更新, 对已有编程指令功能的用法进行了完善, 并介绍了相关数控系统的部分新增功能。

(2) 在手工及自动编程方面对多轴加工技术进行了拓展, 增加了部分五轴加工的编程应用知识。

(3) 对自动编程章节进行了较大的更新, 将 Master CAM V9 版相关知识更新到了 X3 版。

希望修订后的第三版会更加符合读者的需要。

参加本书编写的有: 黄堂芳(第 1 章)、江洁(第 2 章)、王军(第 3 章)、詹华西(第 4、5 章及附录)、李艳华(第 6 章)。全书由詹华西任主编并负责统稿, 李艳华、黄堂芳任副主编。

限于编者的水平和经验, 书中难免存在一些不足或错误, 恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 8 月

第一版前言

本书是根据中国高职研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。它既可作为高职高专教材,也可作为数控加工技术职业鉴定的培训教材,同时可供一般工程技术人员参考。

本书从了解数控加工实用基础知识入手,分别就数控车床、数控铣床、加工中心和数控线切割机床等的操作与编程等具体实用性技术进行了介绍,最后还介绍了微机自动编程软件在数控加工方面的具体应用。书中所有编程实例都经作者上机调试通过。各章均附有思考与练习题,供教学参考。

参加本书编写的有:黄堂芳(第1章)、王青云(第2章)、马保振(第3章)、詹华西(第4章,第5章,第6章8、9节)、叶正环(第6章1~7节)。全书由詹华西统稿主编,马保振、黄堂芳担任副主编。

本书由宋文学主审。

限于编者的水平和经验,书中难免存在一些错误,恳请读者批评指正。

编 者

2003年8月

第二版前言

本书是根据中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。

本书第一版于2004年1月出版。该书是编者依据多年课程教学经验,按照当时各学校所具有的教学设施条件编写的,出版后深受广大读者的欢迎。对于广大读者的支持,编者在此表示衷心的感谢。

随着数控技术的快速发展以及数控系统的升级换代,基于知识同步更新的需要,在广大读者的敦促下,编者对第一版进行了修订。修订后的第二版保持了第一版的写作风格和特点,并在以下几方面作了较大的修改和补充:

(1) 有关数控车、铣的章节采用华中世纪星系统更替了原华中—1型的相关内容。

(2) 有关加工中心的章节仍以介绍FANUC系统为主,增加了图标式面板操作使用的内容,并就立、卧式四轴数控加工技术做了一定的介绍。

(3) 本书新增一章“宏编程技术及其应用”,介绍了宏编程技术规则及其在数控车、铣加工中的应用,对提高读者手工编程的能力具有一定的帮助。并且编者基于自身的探索经验,特别介绍了宏指令扩展的二次开发技术。

(4) 考虑到线切割加工的特殊性,很多学校将其纳入到其他课程的教学内容中,因此,本书删去了“数控线切割机床的操作与编程”这一章及其相关内容。

相信修订后的第二版会更加符合读者的需要。

本书从了解数控加工实用基础知识入手,分别就数控车床、数控铣床、加工中心等的操作与编程、宏编程和微机自动编程技术的应用进行了介绍。书中所有编程实例都经作者上机调试通过。各章均附有思考与练习题,供学习参考。

参加本书编写的有:黄堂芳(第1章)、江洁(第2章)、王军(第3章)、詹华西(第4、5章和附录)、叶正环(第6章)。全书由詹华西任主编并负责统稿,王军、黄堂芳任副主编。

限于编者的水平和经验,书中难免存在一些不足或错误,恳请读者批评指正。

编者

2007年3月

目 录

第 1 章 数控加工实用基础.....	1
1.1 数控加工概述.....	1
1.1.1 数控加工原理和特点.....	1
1.1.2 数控加工常用术语.....	2
1.1.3 数控加工技术的发展.....	4
1.2 数控系统控制原理.....	6
1.2.1 CNC 硬件组成与控制原理.....	6
1.2.2 CNC 系统的软件结构.....	8
1.2.3 插补原理.....	9
1.2.4 典型数控系统.....	11
1.3 数控机床及其坐标系统.....	13
1.3.1 数控机床及其分类.....	13
1.3.2 数控机床的进给伺服系统.....	15
1.3.3 数控机床的主轴驱动.....	16
1.3.4 数控机床的坐标轴与运动方向.....	18
1.3.5 机床原点、参考点和工件原点.....	20
1.3.6 绝对坐标编程和相对坐标编程.....	21
1.4 数控编程基础.....	22
1.4.1 数控加工程序的格式.....	22
1.4.2 程序编制的过程及方法.....	24
1.4.3 程序传送的载体.....	24
1.5 数控加工的工艺处理.....	26
1.5.1 数控加工零件及加工方法的选定.....	26
1.5.2 加工工序的划分.....	27
1.5.3 工件的安装与夹具的选择.....	28
1.5.4 对刀点与换刀点的确定.....	29
1.5.5 加工路线的确定.....	30
1.5.6 刀具与切削用量的选择.....	33
1.6 数控加工的工艺指令和工艺文件.....	37
1.6.1 程序中常用的工艺指令.....	37
1.6.2 数控加工的工艺文件.....	38

思考与练习题.....	41
第2章 数控车床的操作与编程	43
2.1 数控车床及其组成.....	43
2.1.1 数控车床的类型及基本组成.....	43
2.1.2 数控车床的传动及速度控制.....	44
2.1.3 数控车床的控制面板及其功能.....	46
2.1.4 控制软件界面和菜单结构.....	46
2.2 数控车床的位置调整与坐标系的设定.....	47
2.2.1 手动位置调整及 MDI 操作.....	47
2.2.2 数控车床坐标系统的设定.....	50
2.2.3 刀具装夹与对刀调整.....	54
2.3 基本编程指令与程序调试.....	56
2.3.1 程序中用到的各功能字.....	56
2.3.2 车床的编程方式.....	57
2.3.3 基本编程指令.....	58
2.3.4 编程实例.....	60
2.3.5 程序输入及上机调试.....	61
2.4 车削循环程序编写与调试.....	62
2.4.1 简单车削循环.....	63
2.4.2 粗车复合循环程序.....	65
2.4.3 上机编程实例.....	67
2.5 螺纹车削程序的编写与调试.....	69
2.5.1 基本螺纹车削指令 G32.....	69
2.5.2 螺纹车削的简单固定循环 G82.....	73
2.5.3 车螺纹复合循环 G76.....	74
2.5.4 标准管螺纹及其加工编程.....	75
2.5.5 程序调试说明.....	76
2.6 刀具补偿与换刀程序的处理.....	77
2.6.1 刀具的几何补偿和磨损补偿.....	77
2.6.2 刀尖半径补偿.....	78
2.6.3 多把刀具的对刀.....	82
2.6.4 换刀程序的编写与上机调试.....	83
2.7 综合车削技术.....	86
2.7.1 子程序调用.....	86
2.7.2 程序的单段、跳段和空运行.....	87
2.7.3 切槽和钻孔的处理.....	87
2.7.4 综合加工应用实例.....	89
思考与练习题.....	94

第3章 数控铣床的操作与编程	97
3.1 数控铣床及其组成	97
3.1.1 数控铣床的类型及基本组成	97
3.1.2 数控铣床的传动及速度控制	98
3.1.3 操作面板及其基本控制功能	100
3.1.4 控制软件界面与菜单结构	102
3.2 对刀调整及坐标系设定	102
3.2.1 数控铣床的位置调整	103
3.2.2 机床坐标系统的设定	104
3.2.3 钻铣用刀具及对刀	106
3.3 基本功能指令与程序调试	111
3.3.1 程序中用到的各功能字	111
3.3.2 直线和圆弧插补指令	112
3.3.3 其他常用指令	114
3.3.4 编程实例与上机调试	116
3.4 刀具补偿及程序调试	121
3.4.1 刀具半径补偿	121
3.4.2 刀具长度补偿	125
3.4.3 刀具数据库的设置	127
3.4.4 刀补程序的编写与上机调试	128
3.5 综合铣削加工技术	130
3.5.1 子程序及其调用	130
3.5.2 缩放、镜像和旋转程序指令	132
3.5.3 综合加工应用实例	134
3.5.4 加工进程控制	137
思考与练习题	138
第4章 加工中心的操作与编程	142
4.1 数控加工中心及其组成	142
4.1.1 加工中心的类型及其组成	142
4.1.2 加工中心的自动换刀装置	144
4.1.3 机床技术规格及其功能	148
4.2 机床控制面板及其操作	149
4.2.1 数控操作面板	149
4.2.2 手动操作面板	150
4.2.3 基本操作方法	152
4.3 加工中心的工艺准备	154
4.3.1 加工中心的工艺特点	154

4.3.2	刀具及刀库数据设置	155
4.3.3	机床及工件的坐标系统	157
4.4	加工中心编程与上机调试	158
4.4.1	基本程序指令	158
4.4.2	自动换刀程序的编写	163
4.4.3	程序输入与上机调试	166
4.4.4	加工中心的编程与调试要点	168
4.5	钻、镗固定循环及程序调试	169
4.5.1	钻、镗固定循环的实现	169
4.5.2	点位加工编程实例与调试	173
4.6	多轴数控加工技术	174
4.6.1	多轴加工机床及其特点	174
4.6.2	四轴数控加工的编程	177
4.6.3	五轴加工的编程	180
4.6.4	四轴加工中心的操作	183
	思考与练习题	185
第 5 章	宏编程技术及其应用	188
5.1	宏编程技术规则	188
5.1.1	宏编程的概念	188
5.1.2	宏编程的技术规则	188
5.1.3	宏编程的数学基础	190
5.2	车削宏编程技术及其应用	193
5.2.1	车削加工的宏编程技术	193
5.2.2	车削宏编程的基本示例	193
5.2.3	宏编程的子程序调用及传值	196
5.2.4	弧面螺旋线加工的宏编程应用	198
5.3	铣削宏编程技术及其应用	200
5.3.1	铣削加工的宏编程技术	200
5.3.2	铣削加工动态刀补的实现	200
5.3.3	均布孔加工的宏编程实例	203
5.3.4	空间轨迹的宏编程加工	206
5.4	系统编程指令功能扩展的宏实现	208
5.4.1	编程指令功能扩展的对象	208
5.4.2	扩展编程的技术基础	210
5.4.3	编程指令功能扩展示例	212
5.4.4	刀具寿命管理的宏应用	221
	思考与练习题	223

第 6 章 微机自动编程与应用	225
6.1 自动编程概述	225
6.1.1 自动编程原理及类型	225
6.1.2 Master CAM 软件系统概述	226
6.2 零件基本几何图形的绘制	229
6.2.1 基本线圆定义	229
6.2.2 图形修整与变换	233
6.3 空间立体图形的绘制	236
6.3.1 构图平面与工作深度	236
6.3.2 3D 线架结构和曲面模型	237
6.3.3 实体模型	241
6.4 CAM 基础	241
6.4.1 刀具平面及工作坐标系的设定	241
6.4.2 共同的刀具参数设置	242
6.5 2D 刀路定义	244
6.5.1 外形铣削	244
6.5.2 挖槽加工	246
6.5.3 钻孔加工	248
6.5.4 铣平面	249
6.5.5 2D 加工实例	249
6.6 3D 曲面加工刀路	252
6.6.1 基本概念	252
6.6.2 曲面粗加工	253
6.6.3 曲面精加工	255
6.6.4 线框模型和实体模型刀路	257
6.7 多轴加工刀路	257
6.7.1 四轴加工刀路	257
6.7.2 五轴加工刀路	259
6.8 后置处理	260
6.8.1 刀路加工的仿真检查	260
6.8.2 刀具路径的编辑(Edit NCI)	263
6.8.3 工件材质设定(Material)	264
6.8.4 后置处理(Post Proc)	265
6.8.5 数据传送与 DNC 加工	266
6.9 车削自动编程系统简介	268
6.9.1 车削零件图形的生成	268
6.9.2 车削刀路的定义	269
6.9.3 车削程序的生成	273
思考与练习题	273

附录 A 数控操作工职业资格鉴定要求277

附录 B HNC-22T/M 控制软件菜单.....290

附录 C TSG 工具系统.....291

参考文献292

第 1 章 数控加工实用基础



1.1 数控加工概述

1.1.1 数控加工原理和特点

1. 数控加工原理

当我们使用机床加工零件时，通常都需要对机床的各种动作进行控制，一是控制动作的先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时，开车、停车、走刀、换向、主轴变速、开/关切削液等操作都是由人工直接控制的；采用自动机床和仿形机床加工时，上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模、挡块等装置以模拟量的形式来控制的，它们虽能加工比较复杂的零件，且有一定的灵活性和通用性，但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，而且工序准备时间也很长。

采用数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件来。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，输入给机床，即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能，控制加工的全过程，制造出任意复杂的零件。数控加工的原理如图 1-1 所示。

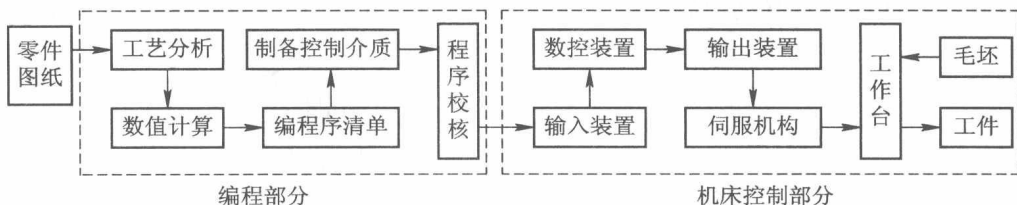


图 1-1 数控加工原理框图

由图 1-1 可以看出，数控加工过程总体上可分为数控程序编制和机床加工控制两大部分。

数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速，能自动控制进给速度、方向、加工路线进行加工，能选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹，能完成加工中所需要的各种辅助动作。

2. 数控加工的特点

总的来说，数控加工有如下特点：

(1) 自动化程度高, 具有很高的生产效率。除手工装夹毛坯外, 其余全部加工过程都可由数控机床自动完成。若配合自动装卸手段, 则是无人控制工厂的基本组成环节。采用数控加工减轻了操作者的劳动强度, 改善了劳动条件; 省去了划线、多次装夹定位、检测等工序及其辅助操作, 有效地提高了生产效率。

(2) 对加工对象的适应性强。改变加工对象时, 除了更换刀具和解决毛坯装夹方式外, 只需重新编程即可, 不需要作其他任何复杂的调整, 从而缩短了生产准备周期。

(3) 加工精度高, 质量稳定。加工尺寸精度在 $0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$ 之间, 不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成, 因而消除了人为误差, 提高了批量零件尺寸的一致性, 同时精密控制的机床上还采用了位置检测装置, 更加提高了数控加工的精度。

(4) 易于建立与计算机间的通信联络, 容易实现群控。机床采用数字信息控制, 易于与计算机辅助设计系统连接, 形成 CAD/CAM 一体化系统, 并且可以建立各机床间的联系, 容易实现群控。

1.1.2 数控加工常用术语

1. 坐标联动加工

数控机床加工时的横向、纵向等进给量都是以坐标数据来进行控制的。像数控车床、数控线切割机床等是属于两坐标控制的, 数控铣床则是三坐标控制的(如图 1-2 所示), 还有四坐标轴、五坐标轴甚至更多的坐标轴控制的加工中心等。坐标联动加工是指数控机床的几个坐标轴能够同时进行移动, 从而获得平面直线、平面圆弧、空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹的能力(如图 1-3 所示)。当然也有一些早期的数控机床尽管具有三个坐标轴, 但能够同时进行联动控制的可能只是其中两个坐标轴, 那就属于两坐标联动的三坐标机床。像这类机床就不能获得空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹。要想加工复杂的曲面, 只能采用在某平面内进行联动控制, 第三轴作单独周期性进给的“两维半”加工方式。

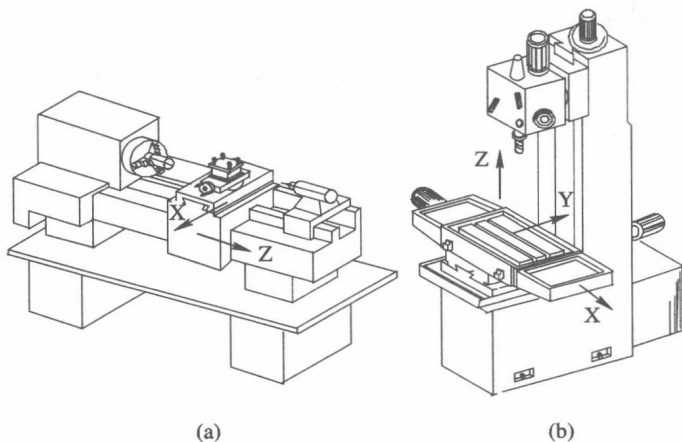


图 1-2 数控机床的控制坐标数

(a) 两坐标数控车床; (b) 三坐标数控铣床

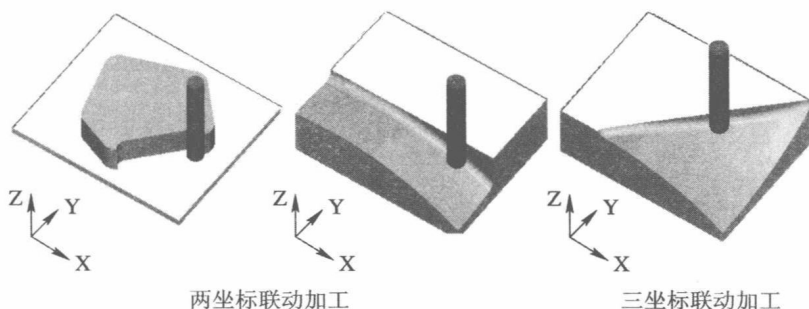


图 1-3 坐标联动加工

2. 脉冲当量与速度修调

数控机床各轴采用步进电机、伺服电机或直线电机驱动，是用数字脉冲信号进行控制的。每发送一个脉冲，电机就转过一个特定的角度，通过传动系统或直接带动丝杠，从而驱动与螺母副连结的工作台移动一个微小的距离。单位脉冲作用下工作台移动的距离就称之为脉冲当量。手动操作时数控坐标轴的移动通常采用按键触发或采用手摇脉冲发生器（手轮方式）产生脉冲，采用倍频技术可以使触发一次的移动量分别为 0.001 mm、0.01 mm、0.1 mm、1 mm 等，相当于触发一次分别产生 1、10、100、1000 个脉冲。

进给速度是指单位时间内坐标轴移动的距离，也就是切削加工时刀具相对于工件的移动速度。如某步进电机驱动的数控轴，其脉冲当量为 0.002 mm，若数控装置在 0.5 分钟内发送出 20000 个进给指令脉冲，那么其进给速度应为： $20000 \times 0.002 / 0.5 = 80 \text{ mm/min}$ 。加工时的进给速度由程序代码中的 F 指令控制，但实际进给速度还是可以根据需要作适当调整的，这就是进给速度修调。修调是按倍率来进行计算的，如程序中指令为 F80，修调倍率调在 80% 挡上，则实际进给速度为 $80 \times 80\% = 64 \text{ mm/min}$ 。同样地，有些数控机床的主轴转速也可以根据需要进行调整，那就是主轴转速修调。

3. 插补与刀补

数控加工直线或圆弧轨迹时，程序中只提供线段的两端点坐标等基本数据。为了控制刀具相对于工件走在这些轨迹上，就必须在组成轨迹的直线段或曲线段的起点和终点之间，按一定的算法进行数据点的密化工作，以填补确定一些中间点，如图 1-4(a)、(b)所示，各轴就以趋近这些点为目标实施配合移动，这就称之为“插补”。这种计算插补点的运算称为插补运算。早期 NC 硬线数控机床的数控装置中采用专门的逻辑电路器件进行插补运算，称之为插补器。现代 CNC 软线数控机床的数控装置中则是通过软件来实现插补运算的。现代数控机床大多都具有直线插补和平面圆弧插补的功能，有的机床还具有一些非圆曲线的插补功能。插补加工原理见本章 1.2 节。

刀补是指数控加工中的刀具半径补偿和刀具长度补偿功能。具有刀具半径补偿功能的机床数控装置能使刀具中心自动地相对于零件实际轮廓向外或向内偏离一个指定的刀具半径值，并使刀具中心在这偏离后的补偿轨迹上运动，刀具刃口正好切出所需的轮廓形状，如图 1-4(c)所示。编程时直接按照零件图纸的实际轮廓大小编写，再添加上刀补指令代码，然后在机床刀具补偿寄存器对应的地址中输入刀具半径值即可。加工时由数控机床的数控

装置临时从刀补地址寄存器中提出刀具半径值, 再进行刀补运算, 然后控制刀具中心走在补偿后的轨迹上。刀具长度补偿主要用于刀具长度发生变化的情况。关于刀具补偿的用法将在以后有关章节中详述。

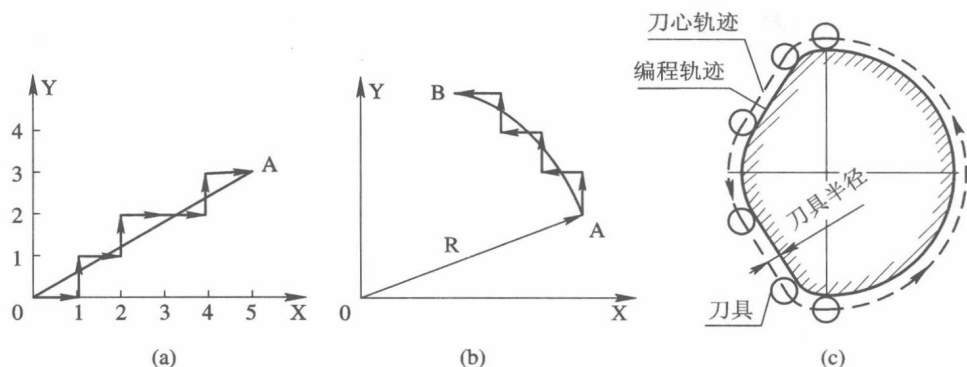


图 1-4 插补和刀补

(a) 直线插补; (b) 圆弧插补; (c) 刀具半径补偿

1.1.3 数控加工技术的发展

1. 数控加工技术的发展历程

1949 年美国 Parson 公司与麻省理工学院开始合作, 历时三年于 1952 年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机, 取名“Numerical Control”。

1953 年麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓、指定切削路线, 即可生成 NC 程序的自动编程语言。

1956 年德、日、苏等国分别研制出本国第一台数控机床。

1959 年美国 Kearney&Trecker 公司开发成功了带刀库、能自动进行刀具交换, 一次装夹中即能进行铣、钻、镗、攻丝等多种加工功能的数控机床, 这就是数控机床的新种类——加工中心。

1968 年英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车及自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统, 这就是柔性制造系统(FMS)。

1974 年微处理器开始用于机床的数控系统中, 从此 CNC(计算机数控系统)软件数控技术随着计算机技术的发展得以快速发展。

1976 年美国 Lockheed 公司开始使用图像编程。利用 CAD(计算机辅助设计)绘出加工零件的模型, 在显示器上“指点”被加工的部位, 输入所需的工艺参数, 即可由计算机自动计算刀具路径, 模拟加工状态, 获得 NC 程序。

DNC(直接数控)技术始于 20 世纪 60 年代末期, 它使用一台通用计算机, 直接控制和管理一群数控机床及数控加工中心, 进行多品种、多工序的自动加工。DNC 群控技术是 FMS(柔性制造技术)的基础, 现代数控机床上的 DNC 接口就是机床数控装置与通用计算机之间进行数据传送及通信控制用的, 也是数控机床之间实现通信接口。随着 DNC 数控技术的发展, 数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。

1986 年以来 32 位 CPU 在 CNC 系统中得到了应用, CNC 系统进入了面向高速度、高精度、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和自动化工厂(FA)的发展阶段。

20 世纪 90 年代, 基于 PC-NC 的智能数控系统开始得到发展, 它打破了原数控厂家各自为政的封闭式专用系统结构模式, 提供开放式基础, 使升级换代变得非常容易; 充分利用现有 PC 机的软硬件资源, 使远程控制、远程检测诊断能够得以实现。

我国虽然早在 1958 年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了第一台数控铣床, 但由于历史原因, 一直没有取得实质性成果。20 世纪 70 年代初期, 曾掀起研制数控机床的热潮, 但当时是采用分立元件, 性能不稳定, 可靠性差。1980 年北京机床研究所引进日本 FANUC5、7、3、6 数控系统, 上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统, 辽宁精密仪器厂引进美国 Bendix 公司的 Dynaph LTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上, 北京机床研究所开发出 BS03 经济型数控和 BS04 全功能数控系统, 航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间国家又组织近百个单位进行以发展自主版权为目标的“数控技术攻关”, 从而为数控技术产业化建立了基础。20 世纪 90 年代末, 华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HCNC 数控系统, 达到了国际先进水平, 加大了我国数控机床在国际上的竞争力度。

近年来, 我国的数控机床无论从产品种类、技术水平、质量和产量上都取得了很大的发展, 在中高档数控机床的开发如五轴联动、复合加工、高速加工、超精加工和数字化设计等关键技术上取得了突破, 自主开发了包括大型多轴联动数控机床、超精密数控机床和一些成套生产线。据统计, 目前我国可供市场销售/应用的数控机床有 1500 种, 几乎覆盖了整个金属切削机床的品种类别和主要的锻压机械; 2009 年我国数控机床年产量达 15.3 万台, 比 2001 年的 1.8 万台增长了 7 倍多; 2002~2009 年, 数控机床产量年均增长率高达 31.86%, 国内数控机床已进入快速发展时期。

2. 数控加工技术的发展方向

现代数控加工正在向高速化、高精度化、高柔性化、高一体化、网络化和智能化等方向发展。

1) 高速化

受高生产率的驱使, 高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一。高速切削可通过高速运算技术、快速插补运算技术、超高速通信技术和高速主轴技术等来实现。高主轴转速可减少切削力, 减小切削深度, 有利于克服机床振动, 传入零件中的热量大大减低, 排屑加快, 热变形减小, 加工精度和表面质量得到显著改善。因此, 经高速加工的工件一般不需要精加工。日本新潟铁工所生产的 UHSIO 型超高速数控立式铣床主轴最高转速高达 100000 r/min。中等规格加工中心的快速进给速度从过去的 8~12 m/min 提高到 60 m/min。

2) 高精度化

高精度化一直是数控机床技术发展追求的目标。它包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度控制两方面。

提高机床的加工精度, 一般是通过减少数控系统误差, 提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性, 采取补偿技术和辅助措施来达到的。目前精整加工精度已提高到 0.1 μm ,